



## Våg- och materiefysik för civilingenjörer

**FY501G-0100**

2020-03-18, kl. 14:15-19:15

---

**Hjälpmedel:** Skrivmateriel, lärobok<sup>1</sup> och miniräknare.

**Betygskriterier:** Skrivningens maxpoäng är 60. Samtliga deluppgifter kan ge 2 poäng och bedöms utifrån kriterier för *kunskap och förståelse; färdighet, förmåga och värderingsförmåga; samt skriftlig avrapportering*. För betyg 3/4/5 räcker det med 4 poäng inom vart och ett av områdena *vågrörelselära, elektromagnetism, kvantmekanik och materiens struktur* samt 30/40/50 poäng totalt. Detaljerna framgår av separat dokument publicerat på Blackboard.

**Anvisningar:** Motivera väl med sidhänvisningar och formelnummer från läroboken, redovisa alla väsentliga steg, rita tydliga figurer och svara med rätt enhet. Redovisa inte mer än en huvuduppgift per blad och lämna in i uppgiftsordning.

**Skrivningsresultat:** Meddelas inom 15 arbetsdagar.

**Examinator:** Magnus Ögren.

**Lycka till!**

---

1.

- a) Den tyngsta (T) och den lättaste (L) strängen på en viss *fiol* (se figur nedan) har linjära densiteter 3.2 g/m respektive 0.26 g/m. Vad är förhållandet mellan diametern  $d_T$  på den tyngsta strängen till diametern  $d_L$  på den lättaste strängen, under antagandet att de är gjorda av samma homogena material?



- b) Fiolsträngarna spänns båda var och en för sig fast mellan två fasta ändar på avståndet 50.0 cm med kraften  $F = 38.7$  N. Genom anslag med tex en stråke kan två olika grundtoner av ljud därmed skapas av fiolen. Vilka två frekvenser,  $f_T$  och  $f_L$ , av ljud kommer från fiolens grundtoner i respektive sträng?
- c) En violinist vill nu spänna den tyngsta strängen ytterligare så att båda strängarna får samma grundton som  $f_L$  från **b**). Vilken ny spännkraft,  $F_T$ , skall den tyngsta strängen då ha (kanske går fiolen sönder)?
- d) Som alternativ till **c**) kan violinisten istället trycka ned fingrarna på och förkorta den tyngsta strängen. Hur lång skall  $l_T$  då vara för att båda strängarna skall få samma grundton, med kraften  $F$  enligt **b**)?

---

<sup>1</sup> *Principles of Physics* 10.th ed. Halliday, Resnick, Walker

Tonen "ettstrukna A" är ofta utgångspunkten för stämning i symfoniorkestrar. En utgår då ofta från det A som instrumentet *oboen* (se figur nedan) ger, vilket normalt är 440 Hz.

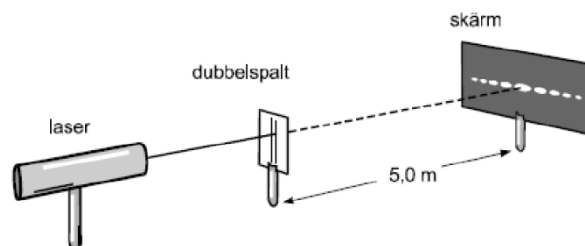


Förr ständes det efter 435 svängningar per sekund och vissa orkestrar stämmer fortfarande efter denna frekvens.

- e) En sen dirigent kommer inspringande mot en stillasittande gammeldags orkester där tonen 435 Hz just då ljuder. Hur snabbt behöver dirigenten springa för att han istället skall uppfatta tonen som 440 Hz?

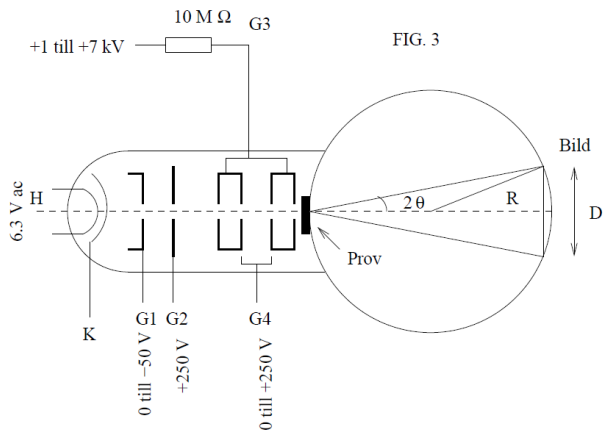
**2. a)**

Laserljus passerar en dubbelspalt med avståndet 0,10 mm mellan spaltöppningarna. På avståndet 5,00 m från spalterna fångar man på en skärm upp ett interferensmönster. Avståndet mellan centralbilden och första ordningens bild är 3,0 cm. Beräkna ljusets våglängd.



- b) I ett laboratorium utförs ett interferensförsök där en kristall bestrålas med röntgenstrålning vars våglängd är 0,15 nm. Ett i huvudsak likadant interferensmönster kan erhållas om kristallen istället bestrålas med elektroner som accelererats över en viss spänning. Hur stor är denna spänning?

I labbsal T112 har ett experiment med materievågor utförts. Några av de viktigaste komponenterna i experimentet avbildas i figuren nedan.



- c) Alla labbgrupper uppgav att de observerade ringar med minskande diametrar när de ökade accelerationsspänningen. Förklara detta kvalitativt.
- d) Vi kan relatera vinkeln  $\theta$  till  $R$  och  $D$  i figuren ovan mha trigonometri enligt formeln

$$\theta = \frac{1}{4} \arcsin \left( \frac{D}{2R} \right). \quad (1)$$

Använd nu formeln (1) ovan, tillsammans med Braggs lag

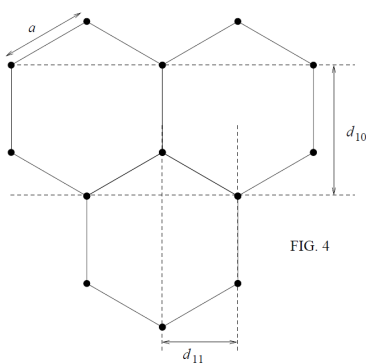
$$2d \sin(\theta) = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

för att för små vinklar visa följande viktiga samband från laborationen

$$d \approx \frac{4R}{D} \lambda. \quad (2)$$

- e) Alla labbgrupper uppgav att de observerade två ringar av olika storlek på skärmen (dvs längst till höger i figuren ovan).

Förklara kvalitativt mha figuren nedan samt gärna med någon formel från kursen varför ni såg två ringar av olika storlek.



**3.** Magnetfältet på avståndet  $R$  från en rak (oändligt) lång ledare med strömmen  $I$  ges av formeln

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}. \quad (3)$$

- a) Härled formeln (3) ovan från en av Maxwells ekvationer.
- b) Härled formeln (3) ovan från Biot-Savarts lag (eng: *law of Biot and Savart*).
- c) För en rak ändligt lång ledare av längden  $L$  med strömmen  $I$  ges istället magnetfältet av formeln

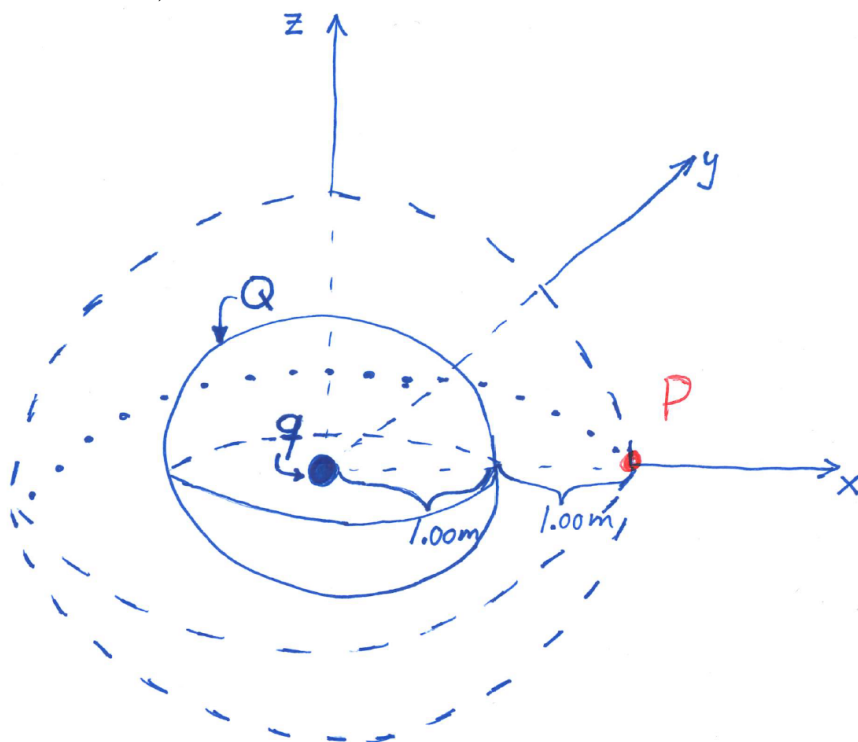
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{\frac{L}{2}}{R\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}}. \quad (4)$$

Visa att formlerna (3) och (4) ovan är ekvivalenta då längden på ledaren  $L$  är mycket längre än avståndet  $R$  från ledaren.

- d) En väldigt liten ( $\ll R$ ) magnetisk dipol befinner sig i ett magnetfält  $\vec{B}$  på avståndet 1.0 m från en rak (oändligt) lång ledare med strömmen 1.0 A. Vad är det magnetiska dipolsmomentet för dipolen om skillnaden i energi är  $4.0 \cdot 10^{-7} \text{ J}$  då dipolen är orienterad parallellt med  $\vec{B}$  jämfört med anti-parallellt?
- e) Vad krävs för mekaniskt moment för att hålla dipolen orienterad vinkelrätt mot  $\vec{B}$ ?

4.

Studera nedanstående figur där  $q$  är en elektrisk punktladdning. Det sfäriska tunna skalet av ett isolerande material med radie  $R = 1.00$  m har den totala laddningen  $Q$ . Den yttre sfären med radie  $R = 2.00$  m är en tänkt sk Gaussisk yta (eng: *Gaussian surface*).



- Beskriv det elektriska fältets riktning i punkten  $P$  om  $q > 0$  och  $Q > 0$ .
- Vad är det elektriska fältets styrka i punkten  $P$  pga punktladdningen  $q$  (dvs för  $Q = 0$ )?
- Vad är det elektriska fältets styrka i punkten  $P$  pga den utspridda laddningen  $Q$  (dvs för  $q = 0$ )?
- Bestäm den konstanta laddningsdensiteten  $\rho_Q$  i enheten  $\text{C/m}^2$  för laddningarna, som tillsammans utgör  $Q$ , på det sfäriska skalet med radie  $R = 1.00$  m, så att  $|\vec{E}| = 0$  i  $P$  då  $q = 1.00$  C.
- Bevisa Gauss lag för elektriska fält för det här exemplet (figuren ovan) då  $q = 1.00$  C och  $Q = 0$ .

**5.**

En vedeldad plåtkamin brinner med effekten 5.0 kW. Dess utsida har en total area av  $1.0 \text{ m}^2$  och håller en konstant temperatur på 500 K.

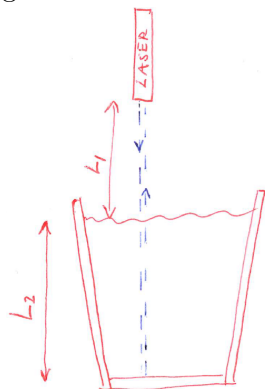
a) Vilken våglängd dominerar värmeutstrålningen från kaminen?

Det finns flera olika former av värme som kommer från kaminen. Ca 20% går dessutom ut genom skorstenen som förluster.

b) Hur stor effekt kommer från kaminen i form av värmestrålning?

c) Uppskatta hur många fotoner som lämnar kaminen per sekund som värmestrålning?

Vi vill använda en kort laserpuls för att bestämma brytningsindex för en drickbar vätska genom att mäta den tid det tar för pulsen att gå igenom vätskan då botten på glaset är reflekterande, se figuren nedan.



d) Lasern har våglängden 532 nm. Det tog tiden 1.56 ns för pulsen att gå från lasern till botten på glaset och tillbaka till lasern. Avståndet från lasern till vattenytan är  $L_1 = 100 \text{ mm}$  och vattnets djup är även det  $L_2 = 100 \text{ mm}$ . Vilket brytningsindex har vätskan?

e) Under 2019-2020 förväntas två reaktorer vid Ringhals kärnkraftverk<sup>2</sup> att avvecklas. Enligt en känd (77-årig) Youtuber motsvarar effekten från dessa två reaktorer den elektriska (medel-) effekt som behövs för att driva hela Sveriges bilflotta på  $5 \cdot 10^6$  bilar (dvs om alla dagens bilar byts ut till elbilar). En bil antas köra 2000 mil om året och bilen antas förbruka 2 kWh energi per mil. Använd Youtubers påstående för att uppskatta effekten på en av reaktorerna i Ringhals. Du kan svara med 1 värdesiffra, tex på formen  $P_{reaktor} = 10^x \text{ W}$ .

---

<sup>2</sup>Ringhals kärnkraftverk ligger ca 50 km söder om Göteborg och är den fastighet i Sverige som har högst taxeringsvärde, 20 578 000 000 kr.

## 6.

TV med QLED teknik (till höger(!) i bilden nedan) har utvecklats av ett välkänt varumärke för hemelektronik. I korthet innebär det en förfinad utgåva av teknologin från LED TV - både i förhållande till LED bakgrundsbelysning samt till LCD-kristallerna. QLED fungerar med en Quantum Dot bakgrundsbelysning, som består av ett lager av ultrasmå nano-kristaller placerade precis bakom LCD-panelen. Varje kristall utsänder antingen blått, grönt eller rött ljus när den träffas av bakgrundsbelysningen. Det betyder att de pixlar du kan se på skärmen, kommer fram i dess riktiga färg istället för i det vanliga, vita ljuset, vilket gör en stor skillnad för bilden.

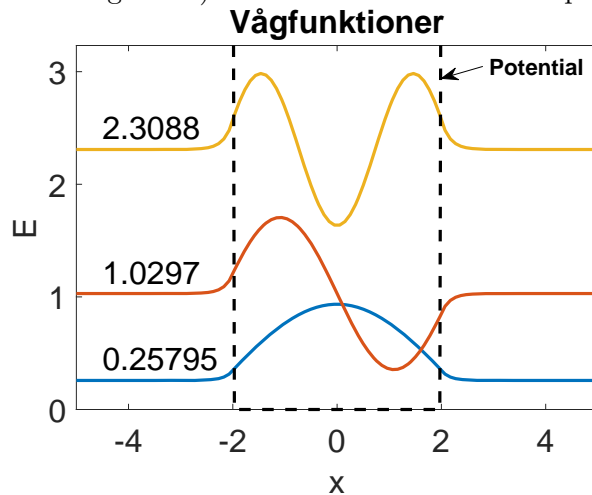


Modellera nu kvantprickarna (Quantum Dots) som oändligt djupa kvadratiska ( $L = L_x = L_y$ ) tvådimensionella brunnar.

Vi antar att ljuset för alla tre typerna av kristaller (dvs de som utsänder rött, blått eller grönt ljus) kommer från övergångar där en elektron från den första exciterade energinivån  $E^{(1.st\ exc.)}$  faller till grundtillståndet  $E^{(GS)}$ . Så vi har alltså att göra med tre typer (R, B, G) av brunnar med olika storlek, dvs ( $L^{(R)}$ ,  $L^{(B)}$ ,  $L^{(G)}$ ).

- a) Ange på formen  $(n_x, n_y)$  de två olika uppsättningar av kvanttal som har energin  $E^{(1.st\ exc.)}$ .
- b) Om grön färg definieras av våglängden 530 nm, vad är då storleken av  $L^{(G)}$  i SI-enheter?
- c) Är  $L^{(R)}$  större eller mindre än  $L^{(G)}$ , motivera ditt svar?

Någon har beräknat de tre lägsta tillstånden för en endimensionell ändlig brunn (eng: *finite well*) numeriskt i Matlab, se figuren nedan där energierna (i någon okänd energienhet) är skrivna till vänster ovanpå respektive vågfunktion.



d) Bevisa mha de numeriska energierna att brunnen inte är oändlig.

e) Som en också kan se från figuren är bredden för den ändliga brunnen lika med 4.00 (i någon okänd längdenhet). Du skapar nu en oändlig brunn med samma bredd. Blir den lägsta energin i den oändliga brunnen högre eller lägre än 0.25795?